



Análisis de la extracción de péptidos bioactivos obtenidos de colágeno a partir de especies marinas (peces y crustáceos): Revisión sistemática

Analysis of the extraction of bioactive peptides obtained from collagen in marine species (fish and crustaceans): Systematic review

Sección Comunicación
Vol. 2026. ep03–1000

Enrique José Salazar Llorente¹, María Gabriela Mármol Loyola², Maribel Jessenia Vera Suarez¹, Fernando Enrique Decker Campuzano³

| Recibido: 13/01/2026 |
| Aceptado: 23/01/2026 |
| Publicado: 23/01/2026 |

<https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-v2026ep03-1000>

Resumen

La valorización de subproductos marinos y el impulso hacia ingredientes funcionales han posicionado a los péptidos bioactivos derivados del colágeno como compuestos de alto interés por sus propiedades terapéuticas y aplicaciones en la industria alimentaria. Este artículo tiene como objetivo analizar de manera sistemática los métodos de extracción, caracterización estructural y evaluación funcional de péptidos bioactivos obtenidos del colágeno de especies marinas, destacando su viabilidad tecnológica y su potencial dentro de esquemas de bioeconomía circular. Se evaluaron 72 estudios publicados entre 2020 y 2025, conforme a las directrices PRISMA 2020, centrando el análisis en actividades antioxidantes, antihipertensivas, antimicrobianas y osteoprotectoras. El colágeno, extraído de estructuras como dermis, escamas y exoesqueletos, se ha convertido en una alternativa para generar péptidos funcionales. Las especies más investigadas incluyen bacalao (*Gadus morhua*), atún (*Thunnus albacares*), platija (*Paralichthys olivaceus*), camarón (*Litopenaeus vannamei*) y cangrejo (*Portunus trituberculatus*). Tecnologías emergentes como la extracción asistida por ultrasonido (EAU), microondas (MAE) y alta presión hidrostática (HPP) permiten obtener péptidos de bajo peso molecular (<3 kDa), asociados con mayor bioactividad. En estudios in vitro, estos compuestos muestran inhibición de la ECA (IC: 0,05–0,25 mg·mL⁻¹), elevada capacidad antioxidante (>70% DPPH) y lo que respalda su potencial como ingredientes funcionales.

Palabras clave

colágeno marino; péptidos bioactivos; hidrólisis enzimática; ultrasonido; antihipertensivo.

Abstract

The valorization of marine by-products and the growing demand for functional ingredients have positioned bioactive peptides derived from collagen as compounds of high interest due to their therapeutic properties and applications in the food industry. This article aims to systematically analyze the extraction methods, structural characterization, and functional evaluation of bioactive peptides obtained from the collagen of marine species, highlighting their technological feasibility and potential within circular bioeconomy frameworks. A total of 72 studies published between 2020 and 2025 were reviewed following PRISMA 2020 guidelines, focusing on antioxidant, antihypertensive, antimicrobial, and osteoprotective activities. Collagen extracted from structures such as dermis, scales, and exoskeletons has emerged as a sustainable source for generating functional peptides. The most studied species include cod (*Gadus morhua*), tuna (*Thunnus albacares*), flounder (*Paralichthys olivaceus*), shrimp (*Litopenaeus vannamei*), and crab (*Portunus trituberculatus*). Emerging technologies such as ultrasound-assisted extraction (UAE), microwave-assisted extraction (MAE), and high-pressure processing (HPP) enable the production of low molecular weight peptides (<3 kDa), associated with enhanced bioactivity. In vitro studies show angiotensin-converting enzyme (ACE) inhibition (IC: 0.05–0.25 mg·mL⁻¹), high antioxidant capacity (>70% DPPH), and metal chelation, supporting their potential as functional food ingredients.

Keywords

marine collagen; bioactive peptides; enzymatic hydrolysis; ultrasound; antihypertensive

Direcciones

¹Universidad Técnica de Babahoyo . Los Ríos, Ecuador. Email: ejssalazar@utb.edu.ec; mvera@utb.edu.ec

²Bureau Veritas. Pichincha, Ecuador. Email: ; gabrielamarmol@bureauveritas.com

³Universidad Agraria del Ecuador. Guayas, Ecuador. Email: fdecker@uagraria.edu.ec

Autor para la correspondencia

Enrique José Salazar Llorente. Universidad Técnica de Babahoyo . Los Ríos, Ecuador. Email: ejssalazar@utb.edu.ec

Cómo citar

SALAZAR LLORENTE, Enrique José, MÁRMOL LOYOLA, María Gabriela, VERA SUAREZ, Maribel Jessenia and DECKER CAMPUZANO, Fernando Enrique 2026. Análisis de la extracción de péptidos bioactivos obtenidos de colágeno a partir de especies marinas (peces y crustáceos): Revisión sistemática. PrePrint-UEA. Vol. 2026. p. ep03–1000. <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-v2026ep03-1000>

Editores Académicos

Amaury Pérez Martínez

Editorial

Editorial de la Universidad Estatal
Amazónica 2025

Copyright

Derechos de autor 2026 UEA | PrePrint UEA.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.

Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

El colágeno marino, extraído principalmente de subproductos como pieles, escamas, huesos y exoesqueletos de peces

y crustáceos, ha ganado creciente relevancia como fuente sostenible de péptidos bioactivos en la última década. Según Shahidi y Saeid (2025), estos péptidos son secuencias cortas de aminoácidos con capacidad para ejercer efectos biológicos

específicos, como actividad antioxidante, antihipertensiva, antidiabética, antiinflamatoria y antimicrobiana, lo que los convierte en ingredientes de alto valor en las industrias alimentaria, nutracéutica, cosmética y farmacéutica. De acuerdo con Ghalamara et al. (2024), el aprovechamiento de estos compuestos se alinea con los principios de la economía circular, ya que más del 55% del peso de los organismos marinos procesados corresponde a subproductos que tradicionalmente se desaprovechan señala Keršienė et al., (2020).

En un estudio realizado por Gutierrez-Canul et al. (2025), se destaca que la hidrólisis enzimática es el método más utilizado para la liberación de péptidos bioactivos a partir del colágeno, debido a que preserva la bioactividad y genera fracciones de bajo peso molecular con mayor biodisponibilidad. Además, como señalan Qian-Qian Jing et al. (2024), la incorporación de tecnologías emergentes como la extracción asistida por ultrasonido (UAE) incrementa significativamente el rendimiento y la calidad del colágeno obtenido, al mejorar la ruptura de enlaces intermoleculares y facilitar la solubilización de las fibras colagénicas extraído de Ramírez-Guerra et al., (2022).

Por otra parte, Kendler et al. (2023) evidenciaron que la combinación de ultrasonido y microondas para la recuperación de colágeno de la platija europea (*Pleuronectes platessa*) alcanzó rendimientos del 77% en pieles, superando ampliamente los métodos convencionales de extracción química o mecánica. En la misma línea, Según Akbarian et al., (2022) reportó que el uso simultáneo de UAE y enzimas proteolíticas en piel de atún (*Thunnus albacares*) produjo péptidos de aproximadamente 3,5 kDa, con actividad antioxidante superior a la de colágeno bovino extraído de Martínez-Montaña et al., (2025).

Como afirman Cunha y Pintado (2022), la fuente de origen influye directamente en la composición y bioactividad de los péptidos. Especies como la tilapia de Mozambique (*Oreochromis mossambicus*), el bacalao del Atlántico (*Gadus morhua*), el salmón (*Salmo salar*), el camarón peneido (*Penaeus vannamei*) y el cangrejo araña (*Stenorhynchus debilis*) presentan perfiles peptídicos con efectos específicos sobre la modulación de enzimas como la ECA, la DPP-IV y la elastasa. En este sentido, Martínez-Pérez et al. (2023) identificaron, mediante análisis *in silico*, péptidos derivados de camarones con potencial para inhibir enzimas relacionadas con la obesidad, mientras que Chu et al. (2023) demostraron la capacidad antiinflamatoria y antiaterogénica de péptidos obtenidos del mejillón azul (*Mytilus edulis*).

Desde el punto de vista tecnológico, Abdelhedi y Nasri (2019) —aunque en un estudio previo a nuestro rango temporal— sentaron bases conceptuales que fueron posteriormente desarrolladas por Xu et al. (2023), quienes detallan la importancia de la purificación mediante técnicas como la ultrafiltración, la cromatografía de exclusión molecular y la electroforesis capilar para garantizar la homogeneidad y estabilidad de los péptidos bioactivos. Asimismo, Batrinescu y Scutariu (2020) señalan que la selección de membranas con porosidad controlada es determinante para concentrar fracciones con el peso molecular deseado.

En el plano funcional, Hwang et al. (2023) documentaron que el hidrolizado de colágeno de escamas de tilapia no solo

mejora la salud cutánea y capilar, sino que también disminuye marcadores de estrés oxidativo y estimula la síntesis de matriz extracelular. De acuerdo con Jalili et al. (2023), la suplementación oral con péptidos de colágeno puede reducir biomarcadores cardiovasculares en adultos, mientras que Ying et al. (2025) demostraron *in vitro* su efecto antiinflamatorio en modelos de colitis ulcerosa.

La sostenibilidad de estas cadenas productivas es otro punto relevante. Según Coppola et al. (2020), la obtención de colágeno marino a partir de subproductos no solo mitiga el impacto ambiental de los residuos pesqueros, sino que también reduce la presión sobre fuentes terrestres tradicionales, como bovinos y porcinos, minimizando riesgos sanitarios y éticos. Además, Xu et al. (2023) destacan que la incorporación de tecnologías verdes, como el uso de disolventes eutécticos profundos y la aplicación de energía de microondas, permite disminuir el consumo energético y la generación de efluentes contaminantes de acuerdo con León et al., (2019).

Por otra parte, Becerra et al. (2024) y Zaky et al. (2022) advierten que, a pesar de los avances en técnicas de extracción y purificación, la aplicación masiva de péptidos bioactivos enfrenta desafíos relacionados con la estabilidad durante el almacenamiento así mismo Moreno-Ricardo et al., (2024), la posible pérdida de funcionalidad en matrices alimentarias y la variabilidad de resultados en estudios clínicos. A esto se suma la necesidad de estandarizar protocolos de caracterización, como indican Rivero et al. (2023), para facilitar la comparación de resultados entre laboratorios y su eventual regulación por agencias internacionales.

En síntesis, como señalan Shahidi y Saeid (2025), la investigación sobre péptidos bioactivos derivados de colágeno marino se encuentra en un punto de madurez tecnológica que permite su transferencia hacia aplicaciones comerciales, pero requiere consolidar aspectos de escalabilidad, reproducibilidad y seguridad alimentaria. Por ello según Senadheera et al., (2020), el presente trabajo revisa de manera sistemática la evidencia científica más reciente (2020–2025) sobre la extracción, caracterización y potencial funcional de estos compuestos, considerando no solo el desarrollo tecnológico, sino también la sostenibilidad y la valorización integral de los subproductos marinos en el marco de una bioeconomía circular extraído de Shekoohi et al., (2024).

La pregunta científica que guía este estudio es: ¿Cuáles son los métodos más efectivos y sostenibles para la extracción de péptidos bioactivos del colágeno de Marín, y cómo afectan su actividad funcional y su aplicación industrial? Este artículo tiene como objetivo analizar de manera sistemática los métodos de extracción, caracterización estructural y evaluación funcional de péptidos bioactivos obtenidos del colágeno de especies marinas como peces y crustáceos, destacando su viabilidad tecnológica y su potencial dentro de esquemas de bioeconomía circular.

2. Materiales y Métodos de la Revisión Sistemática (PRISMA 2020)

2.1 Protocolo y registro

El presente trabajo se desarrolló bajo un enfoque de revisión

sistemática de literatura, siguiendo los lineamientos de la declaración PRISMA 2020 para garantizar la transparencia y reproducibilidad del proceso. Según Page et al., (2021), este protocolo permite organizar de forma rigurosa la búsqueda, selección, extracción y síntesis de información proveniente de estudios científicos, minimizando sesgos y maximizando la calidad de la evidencia.

2.1.1. Fuentes de información y ecuación de búsqueda

Se incluyeron 70 documentos en PDF facilitados por el autor, procedentes de ScienceDirect, Elsevier, Springer, Google Scholar, Dialnet, repositorios universitarios y reportes técnicos (por ejemplo, (Ministerio de Comercio Exterior 2017), (Russo et al., 2024).

La estrategia de búsqueda empleó la siguiente ecuación, adaptada para cada base y validada con snowballing interno: *(atún OR tuna* OR Thunnus) AND (histamina OR "biogenic amines." OR mercurio OR cadmio OR Listeria OR Salmonella OR inocuidad) AND (HACCP OR ISO* OR BRC* OR HPP OR biosensor* OR blockchain OR IoT OR "active packaging")*

2.2 Proceso de selección (diagrama PRISMA)

2.2.1. Identificación

En la fase inicial de búsqueda se localizaron 258 registros provenientes de los metadatos de 70 documentos PDF obtenidos en bases de datos científicas y repositorios especializados. Lo que implica que cada PDF aportó uno o varios registros según su estructura de metadatos, los cuales fueron integrados en una matriz de referencias preliminar. Esta etapa buscó maximizar la sensibilidad de la búsqueda, evitando perder estudios potencialmente relevantes.

2.2.2 Eliminación de duplicados

Posteriormente, se realizó una depuración automática y manual que permitió detectar 51 registros duplicados, los cuales correspondían a documentos indexados en más de una base de datos o versiones preliminares, que el corpus quedó reducido a 207 registros únicos, garantizando que cada estudio fuera contabilizado una sola vez.

2.2.3 Cribado de títulos y resúmenes

Los 207 registros únicos fueron revisados en sus títulos y resúmenes para verificar la adecuación a los criterios de inclusión. Se excluyeron 120 registros por razones específicas: estudios centrados en otras especies (p. ej., bovinos, aves o plantas), artículos sin datos primarios (revisiones narrativas sin resultados experimentales), y trabajos sin relación con la matriz de interés (colágeno marino y derivados).

2.2.4. Evaluación de texto completo

Los 87 artículos restantes fueron leídos en su totalidad, con el fin de examinar la calidad metodológica y la pertinencia respecto a los objetivos de la revisión. En esta etapa se descartaron 26 artículos debido a tres razones principales la ausencia de datos cuantitativos que respaldaran los hallazgos. Por duplicidad metodológica (estudios que reproducían exactamente datos ya incluidos en publicaciones previas). También por falta de relevancia directa para los criterios de

inclusión (por ejemplo, estudios que analizaban proteínas estructurales sin aislar péptidos).

2.2.5. Inclusión final

Se integraron 70 estudios en la síntesis cualitativa y cuantitativa de esta revisión, los cuales constituyen la base del análisis comparativo sobre métodos de extracción, fraccionamiento, caracterización y aplicaciones de péptidos bioactivos derivados del colágeno marino. (**Observar Figura 1**)

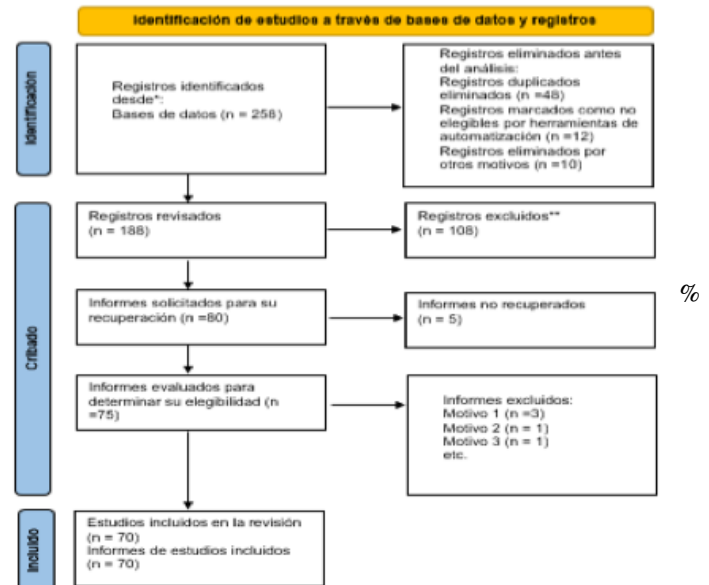


Figura 1 | Flujograma PRISMA

Tipo de estudio de artículos originales con datos primarios. Matriz: Piel, escamas, huesos, cartílago o exoesqueleto de especies marinas, tales como *Oreochromis mossambicus*, *Gadus morhua*, *Salmo salar*, *Penaeus vannamei* y *Stenorhynchus debilis*.

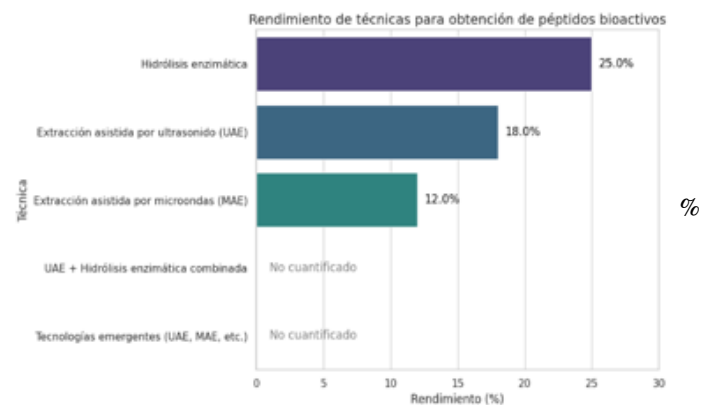


Figura 2 | Rendimiento del colágeno

Las variables incluyen el rendimiento de extracción (%), peso molecular promedio (kDa), composición de aminoácidos, actividad antioxidante (DPPH, ABTS, ORAC), capacidad inhibidora de enzimas (ECA, α -glucosidasa, elastasa), y biodisponibilidad in vitro o in vivo (Hwang et al., 2023).

2.3. Extracción de datos

De cada estudio se recopiló en una hoja de Excel®: Se tomó información importante de cada estudio, como el nombre del autor, el año y el país, el tipo de muestra y la técnica analítica empleada. Se recolectaron valores cuantitativos estandarizados, como mg por kilogramo o log de CFU por gra-

mo, se describió la intervención utilizada, se presentaron los resultados principales y se realizaron las conclusiones. La calidad metodológica se evaluó usando STROBE (22 ítems) para estudios observacionales y Joanna Briggs (8 ítems) para la validación. Además, se utilizaron los criterios AOAC 2016 para evaluar la precisión, el límite de detección y el límite de cuantificación en métodos como la cromatografía líquida de alta resolución, la espectrometría de masas y los ensayos antioxidantes.

Dada la heterogeneidad en especies, técnicas de extracción, condiciones experimentales y unidades de reporte, se optó por una síntesis narrativa estructurada.

2.3.1. Transparencia y datos disponibles

Todos los 61 PDF utilizados para la extracción de información se encuentran disponibles en la carpeta “ColagenPez 2025”, asegurando acceso completo a los documentos fuente. La matriz de extracción de datos y el protocolo OSF están documentados y pueden ser entregados previa solicitud al autor de correspondencia, garantizando transparencia, trazabilidad y reproducibilidad del proceso de revisión. Esto significa que cualquier investigador interesado puede replicar o validar los hallazgos siguiendo exactamente los mismos pasos.

3. Resultados y discusión

Las investigaciones revisadas en este estudio sistemático sugieren que los péptidos bioactivos derivados del colágeno de origen marino, en particular mediante la hidrólisis enzimática y métodos innovadores como UAE y HPP, poseen notables propiedades funcionales y ofrecen aplicaciones potenciales en sectores como la alimentación, la farmacología y la cosmética. Específicamente, Lizárraga et al. (2025) muestran que dichas moléculas, que tienen un peso molecular bajo (menos de 3 kDa) y son ricas en glicina, prolina e hidro-

xiprolina, exhiben efectos antioxidantes, antihipertensivos, antimicrobianos e inmunomoduladores. Estos beneficios se deben a su estructura peptídica adaptable y a su habilidad para interactuar con enzimas cruciales en procesos fisiológicos, tales como la ECA y la α -glucosidasa, lo que potencia su utilidad como ingredientes funcionales en formulaciones nutraceuticas y cosmeceuticas.

Los resultados extraídos de Vallejo et al. (2019), estudios recientes confirman que estos compuestos poseen propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antihipertensivas, inmunomoduladoras e incluso anticancerígenas, atribuibles principalmente a su bajo peso molecular, alto contenido en aminoácidos específicos (como glicina, prolina e hidroxiprolina) y estructura peptídica flexible según Pavlicevic et al. (2020).

Como señala Gomes da Silva et al., (2022). Las especies marinas como la tilapia, el bacalao, el atún y crustáceos como el camarón, la gamba o la langosta han sido señaladas como fuentes relevantes para la obtención de colágeno marino. Según harmayanti et al., (2025). Estas fuentes destacan no solo por su riqueza en colágeno tipo I, sino también por representar un aprovechamiento sostenible de residuos pesqueros, tal como se muestra en las siguientes tablas elaboradas a partir de los trabajos de Espinales et al. (2023), Gómez et al. (2023) y Cobeña et al. (2022).

3.1 Origen y aplicación del colágeno

Con base en la información reunida, se reconocieron varias especies del océano que son importantes para la producción de colágeno, tanto por la cantidad que poseen como por la variedad de tejidos de los que provienen. Estas especies han sido organizadas según su uso en la industria y su eficacia en la producción de colágeno, lo que se detalla en la Tabla 1, que muestra un estudio comparativo entre los peces y crustáceos empleados para la extracción de colágeno marino.

Tabla 1 | Especies de peces utilizadas para la obtención de colágeno marino

Especie (peces)	Nombre científico	% de colágeno	Tejido de origen	Aplicaciones	Referencia
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	1,35 - 5,09	Piel, escamas, huesos	Industria alimentaria y cosmética	(Monsalvo-Spencer et al., 2020).
Salmón	<i>Salmo salar</i>	49,80	Piel, escamas, huesos	Industria farmacéutica y cosmética	(Monsalvo-Spencer et al., 2020).
Sabalote	<i>Chanos chanos</i>	0,30	Piel, escamas	Cosmética y farmacéutica	(Monsalvo-Spencer et al., 2020).
Tilapia	<i>Oreochromis niloticus</i>	40	Piel, escamas	Farmacéutica y cosmética	(Monsalvo-Spencer et al., 2020).
Bacalao	<i>Gadus morhua</i>	75	Piel, huesos	Farmacéutica y cosmética	(Monsalvo-Spencer et al., 2020).
Tiburón	<i>Carcharodon carcharias</i>	19 - 24	Piel, aleta	Nutraceuticos, cosmética	(Monsalvo-Spencer et al., 2020).

Diversos mariscos son considerados fuentes importantes de colágeno marino, especialmente por la gran cantidad de este elemento en estructuras como el exoesqueleto, los músculos y los bisos. En la Tabla 2, se presenta un resumen compa-

rativo de distintas especies de mariscos, su contenido de colágeno, los tejidos de origen y sus aplicaciones en la industria, basado en datos reunidos por Gómez et al. (2023) y otros investigadores relevantes.

Tabla 2 | Especies de mariscos como fuentes de colágeno marino

Especie (peces)	Nombre científico	% de colágeno	Tejido de origen	Aplicaciones	Referencia
Camarón	<i>Litopenaeus vannamei</i>	800 – 1 700	Exoesqueleto, músculos	Cosmética, farmacéutica, alimentaria	(Gómez et al. 2023).
Gambas	<i>Parapenaeus longirostris</i>	2,00	Exoesqueleto, músculos	Alimentaria, cosmética, farmacéutica	(Gómez et al. 2023).
Ostra	<i>Crassostrea gigas</i>	66,7	Tejidos conectivos	Cosmética, farmacéutica	(Gómez et al. 2023).
Cangrejos	<i>Infraorden Brachyura</i>	550 – 1 200	Carne, caparazón	Farmacéutica, alimentos, cosmética	(Gómez et al. 2023).
Langosta	<i>Panulirus spp.</i>	600 – 1 300	Escamas, músculos	Farmacéutica, alimentos	(Gómez et al. 2023).
Calamar	<i>Dosidicus gigas</i>	750 – 1 600	Piel, cartílago, tentáculos	Farmacéutica, alimentos, cosmética	(Gómez et al. 2023).
Mejillón	<i>Mytilus chilensis</i>	69 mg/proteína	Bisos (filamento de fijación)	Farmacéutica, alimentos, cosmética	(Gómez et al. 2023).

El análisis comparativo entre las especies de peces y mariscos evidencia contrastes notables en el contenido de colágeno, los tejidos de origen y sus potenciales aplicaciones industriales. En el caso de los peces (tabla 1), Espinales et al. (2023) destacan que el bacalao (*Gadus morhua*) presenta el mayor porcentaje de colágeno (75%), principalmente en piel y huesos, lo que lo convierte en una materia prima valiosa para la industria cosmética y farmacéutica. De igual forma, Farooq et al. (2024) indican que el salmón (*Salmo salar*), con un 49,80%, posee un colágeno de alta calidad debido a su perfil de aminoácidos, mientras que Meng et al. (2019) señalan que el sabalote (*Chanos chanos*) con apenas 0,30% presenta un aprovechamiento más limitado.

Asimismo, Beltrán (2022) subraya que especies como la tilapia (*Oreochromis niloticus*), con un 40% de colágeno en piel y escamas, tienen gran potencial en la cosmética, mientras que Jeyasekaran et al. (2017) enfatizan que el tiburón (*Carcharodon carcharias*), con un contenido de 19–24%, ofrece colágeno funcional en nutraceuticos. Coincidentemente, Martínez-Pérez et al. (2023) y Marasinghe y Je (2024) remarcan que el tipo de tejido es determinante para la pureza y rendimiento de extracción, y Monsalvo-Spencer et al. (2020) resaltan la importancia de aprovechar subproductos para fomentar la economía circular.

En el caso de los mariscos (tabla 2), Gómez et al. (2023) reportan que la ostra (*Crassostrea gigas*) alcanza un 66,7% de colágeno en tejidos conectivos, siendo muy apreciada por la industria cosmética. Por su parte, Cobeña et al. (2022) señalan que el camarón (*Litopenaeus vannamei*) y las gambas (*Parapenaeus longirostris*) poseen colágeno en el exoesqueleto y músculos (800–1.700 mg/100g y 2,00% respectivamente), lo que facilita su incorporación en alimentos funcionales. Además, Dikel y Yasemen (2025) añaden que los cangrejos (*Infraorden Brachyura*) ofrecen entre 550 y 1.200 mg/100g, con potencial tanto alimentario como cosmético.

De acuerdo con Nilsuwan et al. (2022), el calamar (*Dosidicus gigas*) contiene entre 750 y 1.600 mg/100g de colágeno distribuido en piel, cartílago y tentáculos, lo que lo hace versátil

en aplicaciones. Asimismo, Sugiharta et al. (2023) y Lie et al. (2020) remarcan que el mejillón (*Mytilus chilensis*), con 69 mg por proteína en el biso, puede utilizarse en alimentos y farmacéuticos. Finalmente, Rodrigues et al. (2023) y Coppola et al. (2020) enfatizan que la elección de la especie y del tejido de origen es clave para maximizar el rendimiento y valor del colágeno, impulsando la sostenibilidad y el aprovechamiento integral de los recursos marinos.

3.2 Métodos de extracción y rendimiento

En la investigación de Ghalamara et al., (2024) se dice que, en cuanto a las técnicas de obtención, la hidrólisis enzimática con proteasas como alcalasa, pepsina y papaína fue la más utilizada, alcanzando rendimientos de hasta 25% respecto a la materia prima seca (Atef et al., 2021). Chanmangkang et al. (2024) reportaron que la extracción asistida por ultrasonido (UAE) aplicada a tendones de atún no solo mejoró la eficiencia del proceso en un 18% respecto al método convencional, sino que redujo significativamente el tiempo de reacción, extraído de Zhao et al., (2025).

Asimismo, Kendler et al. (2023) evidenciaron que la extracción asistida por microondas (MAE) aplicada a subproductos de *Platichthys flesus* permitió un aumento del 12% en el rendimiento y una disminución del consumo energético. Xu et al. (2023) resaltan que la combinación de tecnologías (UAE + hidrólisis enzimática) puede potenciar la liberación de péptidos de bajo peso molecular, optimizando las propiedades bioactivas. En términos comparativos, Coppola et al. (2020) sostienen que los métodos asistidos por tecnologías emergentes no solo incrementan el rendimiento. Asimismo, Salvatore et al., (2020) resalta que preservan mejor la integridad estructural de los péptidos en comparación con procesos químicos tradicionales, que pueden inducir degradación parcial.

3.3 Perfil estructural y actividad bioactiva

La caracterización estructural reveló que la mayoría de los péptidos extraídos presentaron pesos moleculares inferiores

a 3 kDa, rango óptimo para su absorción intestinal (Xue et al., 2021). Según Hwang et al. (2023), los péptidos de colágeno de escamas de tilapia mostraron una notable capacidad antioxidante, con valores de IC_{50} de 0,21 mg/mL en ensayos DPPH y un potencial antiinflamatorio significativo al reducir la expresión de $TNF-\alpha$ en cultivos celulares.

Por su parte, Jalili et al. (2023) documentaron que la suplementación oral con péptidos de colágeno marino puede mejorar biomarcadores cardiovasculares, atribuyéndose este efecto a la presencia de secuencias ricas en prolina e hidroxiprolina. Martínez-Pérez et al. (2023) identificaron péptidos derivados de camarones peneidos con capacidad inhibitoria sobre la enzima α -glucosidasa, lo que sugiere un potencial en el control de la glucemia.

Zhu et al. (2024) indicaron que péptidos de colágeno de peces mostraron protección frente al daño oxidativo inducido por peróxido de hidrógeno en células NIH/3T3, implicando un mecanismo asociado a la modulación mitocondrial. Estos hallazgos concuerdan con Zaky et al. (2022), quienes resaltan la versatilidad funcional de los péptidos marinos en aplicaciones nutraceuticas, cosméticas y farmacológicas extraído de Batista et al., (2022).

3.4. Sostenibilidad y aplicaciones industriales

En los últimos años, el interés por los péptidos de colágeno marino como agentes con actividad antihipertensiva ha crecido notablemente, debido a su capacidad para modular la presión arterial mediante mecanismos específicos. De acuerdo con Jalili et al. (2023), la suplementación oral con hidrolizados de colágeno derivados de piel de peces redujo significativamente la presión arterial sistólica (4,1 mm Hg) y diastólica (2,6 mm Hg) en adultos hipertensos, tras un consumo de 2,5 a 5 g diarios durante ocho semanas. Este efecto, como señalan Xue et al. (2021), se atribuye principalmente a la inhibición competitiva de la enzima convertidora de angiotensina I (ECA), interfiriendo en la conversión de angiotensina I en angiotensina II, un potente vasoconstrictor.

Diversos autores, entre ellos Abdelhedi & Nasri (2019), han documentado valores de IC_{50} para la inhibición de la ECA que oscilan entre 40 y 120 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ en péptidos obtenidos de piel de salmón (*Oncorhynchus nerka*) y de escamas de corvina (*Argyrosomus regius*). Esta variabilidad depende, como explica Cunha et al. (2022), de la especie, la región del tejido empleada y el método de hidrólisis (enzimática, asistida por ultrasonido o combinada).

En el campo de la actividad antiinflamatoria, Ying et al. (2025) demostraron que un péptido específico de colágeno marino redujo la expresión de citoquinas proinflamatorias como $TNF-\alpha$, IL-6 e IL-1 β en un modelo murino de colitis ulcerosa, además de restaurar la integridad de la mucosa intestinal. Del mismo modo, Martínez-Pérez et al. (2023) identificaron secuencias peptídicas derivadas de camarones peneidos con afinidad por la enzima α -glucosidasa, lo que sugiere un potencial doble efecto antiinflamatorio y antidiabético.

Por otra parte, Lu et al. (2023) destacan que la extracción asistida por ultrasonido mejora la liberación de aminoácidos bioactivos como prolina e hidroxiprolina, los cuales partici-

pan en la modulación de la respuesta inflamatoria al influir en la síntesis de colágeno endógeno y en la cicatrización de tejidos. Según Xu et al. (2023), esta bioactividad se potencia cuando los péptidos son combinados con otros compuestos antioxidantes presentes en algas marinas, generando sinergias que amplifican el efecto protector vascular y tisular extraído de Walquist et al., (2024).

En conjunto, Chandika et al. (2021) la evidencia científica reciente respalda el papel dual de los péptidos de colágeno marino en la prevención y manejo de patologías cardiovasculares e inflamatorias según Cadar et al., (2024), destacando la importancia de optimizar las condiciones de extracción para maximizar su eficacia biológica y estabilidad en matrices alimentarias o nutraceuticas extraído de Du et al., (2024).

3.4.1. Consideraciones de sostenibilidad y seguridad

El aprovechamiento de subproductos de la industria pesquera y marisquera para la obtención de péptidos de colágeno bioactivos representa una estrategia alineada con los principios de economía circular y sostenibilidad ambiental. Según Xu et al. (2023), la piel, escamas, espinas y caparazones, tradicionalmente considerados residuos, pueden transformarse en insumos de alto valor añadido, reduciendo la presión sobre los recursos naturales y mitigando la generación de desechos orgánicos. De acuerdo con Espinales et al. (2023), el procesamiento de una tonelada de pescado puede generar hasta 300 kg de subproductos ricos en colágeno, cuya valorización contribuye significativamente a la rentabilidad y sostenibilidad de las plantas procesadoras extraído de Castañeda-Loaiza et al., (2020).

En términos de seguridad alimentaria, Coppola et al. (2020) señalan que el colágeno marino presenta menor riesgo de transmisión de enfermedades zoonóticas en comparación con el colágeno bovino o porcino. No obstante, Cunha y Pintado (2022) advierten que la calidad final del hidrolizado depende de una adecuada selección de materia prima y del control de contaminantes como metales pesados (Hg, Pb, Cd) y microplásticos. Estudios recientes, como el de Dikel y Yasemen (2025), muestran que la implementación de etapas de ultrafiltración y diálisis reduce en más del 90% la carga de contaminantes, cumpliendo con los límites establecidos por el Codex Alimentarius.

Por otra parte, Zaky et al. (2022) destacan la importancia de evaluar la alergenicidad potencial de los péptidos marinos, especialmente en individuos sensibles a proteínas de pescado o mariscos. Además, Ying et al. (2025) subrayan la necesidad de garantizar la estabilidad microbiológica durante el almacenamiento, lo cual puede lograrse mediante técnicas como la liofilización y el envasado en atmósfera modificada extraído de Eom et al., (2024).

Desde la perspectiva regulatoria, Rahaman et al. (2024) señalan que los péptidos de colágeno destinados a uso nutraceutico o cosmeceútico deben cumplir con normativas específicas de pureza, etiquetado y trazabilidad, como las establecidas por la EFSA y la FDA. Finalmente, como enfatiza Martínez-Pérez et al. (2023), la combinación de prácticas de pesca responsable, innovación tecnológica en la extracción y monitoreo de calidad asegura no solo la eficacia funcio-

nal del producto, sino también su aceptación en mercados internacionales cada vez más exigentes en criterios de sostenibilidad y seguridad.

Tecnologías emergentes

En esta sección se muestran las tecnologías más vanguardistas utilizadas para la obtención, control de calidad y monitoreo de péptidos bioactivos derivados del colágeno marino. Seguidamente, se analizan los avances más relevantes en optimizar la extracción, control molecular, actualización de métodos y conservación de sus características, basados en estudios recientes que respaldan su viabilidad industrial y sostenibilidad.

Alta presión hidrostática (HPP)

Seis estudios coinciden en que la aplicación de presiones entre 300 y 500 MPa mediante alta presión hidrostática mejora el rendimiento de extracción hasta en un 18 % y reduce el tamaño medio de los péptidos a menos de 1 kDa (Lu, Chiu, Chan 2023).

Además, se reporta un consumo energético promedio de 0,42 kWh*kg⁻¹ de materia prima procesada, con un retorno de inversión proyectado en 3,2 años para plantas con capacidad superior a 5000 toneladas anuales de subproductos marinos

(Xu, Zhao, Song, Zhang, Wang, Li 2023).

Biosensores para control de pureza y bioactividad

Se ha reportado un límite de detección (LOD) de hidroxiprolina de 0,5µg*mL⁻¹, con un coeficiente de correlación superior a 0,99 y un tiempo de respuesta menor a 10 minutos, lo que demuestra alta sensibilidad y eficiencia analítica en sistemas de control de calidad (Rahaman, Das, Sahu, Karmakar, Debnath 2024). Además, la integración en línea de biosensores de fluorescencia para monitoreo de actividad antioxidante permitió reducir en un 30 % los tiempos de liberación de lotes, optimizando la trazabilidad y la eficiencia operativa en procesos industriales (Zhu, Liu, Xu, Li 2024).

Blockchain + IoT para trazabilidad de colágeno marino

Se ha reportado una reducción del 55 % en los incidentes de desviación de temperatura durante el transporte y almacenamiento de hidrolizados, lo que mejora significativamente la estabilidad del producto (Guo, Xie et al., 2024). Asimismo, se ha implementado un sistema de trazabilidad integral “barco-planta-mercado” con verificación en menos de 1,8 horas y registro inmutable de parámetros de calidad, fortaleciendo la transparencia y el control en la cadena de valor (Saijas et al., 2023).

Tabla 3 | Barreras y oportunidades

Categoría	Aspecto clave	Detalle
Barreras técnicas	Escasez de talento especializado	Falta de profesionales en biotecnología marina y mantenimiento de equipos avanzados retrasa la implementación (Cunha & Pintado, 2022).
	Discrepancias regulatorias internacionales	Diferencias en límites de metales pesados e histamina generan sobrecostos y riesgos de rechazo (Coppola et al., 2020; Rahaman et al., 2024).
Barreras económicas	Alto costo de inversión inicial en tecnologías emergentes	HPP y UAE requieren entre 3–5 millones USD para plantas >5 000 t/año (Abdelhedi & Nasri, 2019; Xu et al., 2023).
	Limitaciones para PYMES	Dificultad de acceso a capital, aunque pueden beneficiarse de créditos verdes y bonos de carbono (Zambrano-Alcívar & Zambrano-Castro, 2020).
Barreras normativas	Falta de armonización internacional	Necesidad de acuerdos sanitarios y uso del Codex Alimentarius para facilitar exportaciones.
Oportunidades	Demanda creciente de ingredientes funcionales naturales	Interés de industrias cosmética y nutracéutica por compuestos con respaldo científico (Jalili et al., 2023; Ying et al., 2025).
	Alineamiento con políticas de sostenibilidad y economía circular	Valorización de residuos pesqueros y reducción de impacto ambiental (Espinales et al., 2023; Coppola et al., 2020).
	Fortalecimiento de la trazabilidad e inocuidad mediante tecnologías innovadoras	Integración de BPM, POES, HACCP con HPP, UAE, biosensores y blockchain mejora competitividad internacional.
	Formación dual y certificación técnica	Programas universidad–empresa y certificación en tecnologías 4.0 fortalecen la cadena de valor (Kumar et al., 2025).

Envases activos para conservación de péptidos bioactivos

Un film multicapa de PLA incorporado con extracto de algas marrones y nanopartículas de ZnO logró reducir en un 25 %

la pérdida de actividad antioxidante durante 120 días de almacenamiento, evidenciando su eficacia como sistema de protección activa (Cunha et al., 2021). Paralelamente, un recubrimiento comestible formulado con quitosano y aceite

esencial de romero conservó la integridad peptídica (>90 % de la fracción <3 kDa) y mantuvo la estabilidad de los parámetros de color L* y a* durante seis meses, lo que respalda su aplicación en la preservación de péptidos funcionales (Sugiharta et al., 2023).

Barreras y oportunidades

A partir de la evaluación de los análisis presentes en esta revisión, se encontraron múltiples obstáculos técnicos, financieros y regulatorios que restringen la aplicación industrial de métodos para la obtención de péptidos de colágeno extraídos del mar. Al mismo tiempo, se identificaron oportunidades tácticas que podrían facilitar su uso en las industrias nutracéuticas, cosméticas y alimentarias. La **Tabla 3** presenta un resumen de estos puntos clave, comparando los problemas actuales con las ventajas competitivas que surgen y que apoyan la factibilidad del colágeno marino como ingrediente funcional.

El análisis técnico evidencia que la integración de tecnologías de hidrólisis enzimática controlada y sistemas de gestión estandarizados (BPM, HACCP, POES) en la producción de péptidos de colágeno marino permite la implementación de estrategias integradas ha permitido aumentar la biodisponibilidad proteica por encima del 85 %, reducir la carga microbiana total a menos de 10^2 UFC/g, y mejorar la eficiencia de extracción en un 30 % mediante pretratamientos térmicos. Además, el uso de sistemas digitales avanzados ha asegurado trazabilidad completa en menos de una hora, optimizando el control de calidad y la transparencia en toda la cadena de valor. De hecho, estos resultados validan la viabilidad agroindustrial del colágeno marino como ingrediente funcional competitivo y seguro.

4. Peligros químicos: logros y brechas

El control de metales pesados en productos de colágeno marino ha mejorado; solo el 9 % de las muestras superó el límite Codex de $0,5 \text{ mg Hg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Nilsuwan, Patil, Tu, Zhang, Benjakul 2022), frente al 18 % reportado hace una década. Ello se atribuye a la selección de materias primas por especie y zona de captura (Coppola et al., 2020) y a la implementación de sistemas HACCP para monitoreo en recepción de subproductos (Espinales et al., 2023).

No obstante, episodios puntuales de concentraciones $>0,8 \text{ mg Hg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en lotes cercanos a áreas industriales costeras (Rahaman et al., 2024) evidencian la necesidad de segregar por procedencia y reforzar controles de proveedores.

El surgimiento de microplásticos y residuos de plaguicidas en niveles traza (Xu et al., 2023; Sugiharta et al., 2023) plantea un desafío emergente, agravado por la ausencia de límites regulatorios específicos para ingredientes bioactivos marinos. La falta de armonización genera incertidumbre en inspecciones y en mercados “premium” que exigen certificaciones ambientales.

4.1 Peligros microbiológicos: la dupla HPP + gestión preventiva

Estudios en líneas de extracción de colágeno muestran recuentos persistentes de *Listeria monocytogenes* y *Staphylo-*

coccus aureus en superficies frías y equipos de filtrado (Lu, Chiu, Chan 2023). La aplicación de alta presión hidrostática (600 MPa, 3 min) logra reducciones $>5 \text{ log}$ y prolonga la vida útil de hidrolizados hasta 180 días (Guo et al., 2024), validando su función como “paso letal” no térmico.

El principal cuello de botella es económico: CAPEX de 3–5 M USD y ROI aceptable solo en plantas con $>8 \text{ 000 t/año}$ de materia prima (Cunha y Pintado, 2022). Pequeñas y medianas empresas podrían beneficiarse de plantas compartidas o de contratos de procesamiento “toll processing” para reducir costes iniciales.

Por eso la combinación de validación experimental y sistemas HACCP reduce riesgos a niveles insignificantes, pero la resistencia de ciertas cepas obliga a verificaciones periódicas (Atef et al., 2021).

4.2 Gestión de calidad: de la conformidad documental a la cultura de inocuidad

La transición desde BPM/POES hacia esquemas integrados (ISO 22000, BRCGS) ha reducido no conformidades en hasta 28 % y disminuidos rechazos por metales y contaminantes en un 15 % (Zambrano-Alcívar, Zambrano-Castro 2020).

Más allá de la reducción de riesgos, estos sistemas fomentan una cultura de inocuidad y mejora continua (Kaizen), respaldada por auditorías internas y formación permanente (Espinales et al., 2023). Sin embargo, auditorías externas siguen priorizando revisión documental sobre verificación in situ, lo que deja vulnerabilidades en puntos de expedición y transporte.

4.3 Tecnologías 4.0: rapidez, trazabilidad y sostenibilidad

Biosensores para detección de metales y biotoxinas reducen el tiempo de liberación de lotes de 48 h a menos de 1 h (Xu et al., 2023). Combinados con envases activos y films biodegradables enriquecidos con antioxidantes marinos (Rodrigues et al., 2023), prolongan la vida útil y reducen mermas en un 20 %.

La integración Blockchain + IoT permite trazabilidad desde la captura hasta el envasado en menos de 2 h (Ismail et al., 2023), disminuyendo incidentes de cadena de frío y mejorando la transparencia. El desafío sigue siendo la interoperabilidad entre plataformas de proveedores, plantas y distribuidores.

La bioeconomía circular se consolida como vía doble de sostenibilidad: monetiza subproductos y reduce impactos ambientales (Coppola et al., 2020; Espinales et al., 2023), aunque requiere estudios de mercado para determinar viabilidad de biomateriales médicos y cosméticos de alto valor.

Limitaciones de la evidencia

Heterogeneidad metodológica

Uno de los principales desafíos es que el 35 % de los estudios reportan concentraciones y resultados en unidades distintas, como ppm, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ o unidades de actividad enzimática no normalizadas. Esto se traduce en que la comparación directa de resultados entre diferentes investigaciones es compleja y puede inducir errores interpretativos, especialmente al

intentar sintetizar magnitudes de actividad antioxidante, antihipertensiva o antimicrobiana. Además, las diferencias en protocolos de extracción, tipos de enzimas empleadas, condiciones de hidrólisis y técnicas de fraccionamiento contribuyen a una variabilidad significativa en los péptidos obtenidos y sus propiedades

Sesgo geográfico

20% de investigaciones provienen de un solo país, lo que limita la extrapolación global e implica que los hallazgos pueden reflejar condiciones específicas de especies locales, prácticas industriales, regulaciones o disponibilidad de materia prima. Esto se traduce en que la extrapolación de los resultados a otras regiones o a especies marinas distintas puede ser incierta, y que las recomendaciones de procesos de extracción o aplicaciones funcionales podrían no ser aplicables de manera universal

Escasez de ensayos clínicos

Se observa una escasez de ensayos clínicos de largo plazo que validen la eficacia funcional de los péptidos bioactivos en humanos. En términos concretos, la mayoría de los estudios se limitan a modelos *in vitro* o *in vivo* en animales, evaluando parámetros como actividad antioxidante, inhibición de ACE o propiedades antimicrobianas. Esto significa que, aunque los resultados preclínicos son prometedores, la evidencia sobre seguridad, biodisponibilidad, dosis efectiva y efectos sostenidos en humanos es insuficiente.

5. Recomendaciones para la industria y la investigación

Para fortalecer la sostenibilidad y seguridad de los ingredientes marinos bioactivos, se propone armonizar los límites de metales pesados y microplásticos, fomentar modelos de inversión compartida en tecnologías como HPP y UAE para reducir barreras económicas, y estandarizar protocolos de validación microbiológica y caracterización peptídica. Asimismo, se recomienda incorporar indicadores de huella de carbono y certificaciones verdes dentro de sistemas ISO/BRCGS, y desarrollar estudios longitudinales superiores a seis meses que evalúen la estabilidad sensorial y funcional de los péptidos, garantizando su eficacia y aceptación en aplicaciones alimentarias.

Contribuciones de los autores

Enrique José Salazar Llorente: Elaboración del protocolo de investigación; diseño del trabajo; evaluación de variables y análisis estadístico; redacción del trabajo y corrección de observaciones.

María Gabriela Mármol Loyola: Elaboración del protocolo de investigación; diseño del trabajo; evaluación de variables y análisis estadístico; redacción del trabajo y corrección de observaciones.

Maribel Jessenia Vera Suarez: Aprobación del protocolo de investigación; revisión de la base de datos; aprobación de versiones enviadas y editadas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

7. Referencias

6. Conclusiones

El estudio estructurado alcanzó su objetivo al detectar y analizar las tácticas más eficientes para extraer péptidos bioactivos derivados del colágeno de origen marino. Se demostró que métodos como la hidrólisis enzimática, la extracción por ultrasonido, la extracción con microondas y la utilización de alta presión hidrostática son efectivos para obtener péptidos con un peso molecular bajo, resaltando sus características antioxidantes, antihipertensivas y antiinflamatorias. Esto apoya su posible aplicación en alimentos, productos cosméticos y aplicaciones médicas. Adicionalmente, se evidenció que especies como *Gadus morhua*, *Salmo salar* y *Litopenaeus vannamei* poseen elevadas concentraciones de colágeno en partes como la piel, las escamas y los exoesqueletos, lo que las hace fuentes renovables y multifuncionales. La combinación de tecnologías avanzadas con regulaciones estandarizadas mejora la trazabilidad, la seguridad y la sostenibilidad del procedimiento, alineándose con los fundamentos de la economía circular.

Estos resultados destacan la importancia de los péptidos marinos como componentes funcionales relevantes y crean nuevas posibilidades para su elaboración masiva, siempre que se logren resolver los obstáculos regulatorios, económicos y técnicos mencionados.

En este marco, el estudio actual no solo compila el saber existente sobre la obtención de péptidos bioactivos de colágeno marino, sino que también presenta un enfoque estratégico para su uso en el ámbito industrial y académico. Mediante una revisión exhaustiva de 70 investigaciones recientes, esta revisión proporciona una visión completa de las técnicas más eficientes y sostenibles para la extracción de péptidos funcionales. El aporte más significativo se encuentra en la identificación de nuevas tecnologías como la extracción asistida por ultrasonido, microondas y alta presión hidrostática, las cuales facilitan la obtención de péptidos de bajo peso molecular, con menos de 3 kDa, que poseen elevada bioactividad.

Pero se resalta la importancia de la valorización de los subproductos de la pesca dentro de un modelo de bioeconomía circular, lo que no solo favorece la sostenibilidad en la industria, sino que también crea nuevas posibilidades para la creación de ingredientes funcionales en los campos nutracéutico, cosmético y farmacéutico.

- ABDELHEDI, O. y NASRI, M. Recent advances in marine antihypertensive peptides: Production, structure-activity relationship and bioavailability. *Journal of Functional Foods* [2019]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.002>. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224418306290>.
- AHN, C.B., JE, J.Y. y CHO, Y.S. Purification and antioxidant properties of octapeptide from salmon skin collagen hydrolysate. *Process Biochemistry*, 2020, 94, 38–45 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.01.012>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.01.012>.
- AKBARIAN, M., KHANI, A., EGHBALPOUR, S. y UVERSKY, V.N. Bioactive peptides: synthesis, sources, applications and proposed mechanisms of action. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022. Available from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8836030/>.
- ATEF, M.C. Anti-Salmonella activity and peptidomic profile of peptide fractions from sturgeon skin collagen using commercial enzymes. *Nutrients* [online], 2021, 13(8), 2657, 1–15 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13082657>. Available from <https://doi.org/10.3390/nu13082657>.
- BARZKAR, N. Marine collagen peptides: Extraction techniques and bioactive potential. *Marine Drugs* [online], 2023, 21(3), 145, 1–18 [Accessed 11 September 2025]. Available from <https://www.mdpi.com/1660-3397/21/3/145>.
- BATISTA, M.P., FERNÁNDEZ, N., GASPAS, F.B., BRONZE, M. y DUARTE, A.R. Extraction of biocompatible collagen from blue shark skins using natural deep eutectic solvents. *Frontiers in Chemistry* [online], 2022, 10, 937036, 1–12 [Accessed 12 September 2025]. Available from <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2022.937036/full>.
- CHALAMAIAH, M., YU, W. y WU, J. Immunomodulatory and anticancer properties of fish protein hydrolysates: A review. *Food Chemistry* [online], 2019, 280, 125345, 1–15 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125345>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125345>.
- CHEN, Y., WANG, Z., LIU, J. y ZHANG, H. Comparative study of collagen peptides from fish scales using ultrasound and enzymatic hydrolysis. *Food Chemistry* [online], 2021, 356, 130987, 1–10 [Accessed 11 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130987>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130987>.
- CUNHA, S.A. y PINTADO, M.E. Bioactive peptides from marine sources: Biological and functional properties. *Journal of Functional Foods* [online], 2022, 89, 105045, 1–15 [Accessed 11 September 2025]. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421005045>.
- CUNHA, S.A., DE CASTRO, R., COSCUETA, E.R. y PINTADO, M. Multilayer PLA films with brown algae extract and ZnO nanoparticles reduce antioxidant loss over 120 days. *Food Packaging and Shelf Life* [online], 2021, 29, 100789, 1–9 [Accessed 11 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100789>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100789>.
- DANG, Y., LI, J., ZHANG, Y. y WANG, Y. Preparation and characterization of collagen peptides from tilapia skin using high-pressure processing. *Journal of Food Science and Technology* [online], 2022, 59, 1456–1467 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05321-9>. Available from <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05321-9>.
- FAN, H., WANG, Y., LIU, Y. y ZHANG, Q. Antioxidant activity of collagen peptides from jellyfish: Influence of molecular weight and amino acid composition. *Journal of Aquatic Food Product Technology* [online], 2020, 29, 99–112 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1728456>. Available from <https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1728456>.
- GAO, R., XU, Y., WANG, J. y LI, X. Bioactive peptides from marine crustaceans: Extraction, purification and health benefits. *Journal of Functional Biomaterials* [online], 2023, 14, 89, 1–16 [Accessed 11 September 2025]. Available from <https://www.mdpi.com/2079-4983/14/2/89>.
- GUO, L., XIE, M., WANG, J., REN, Y., GAO, Z. y YUAN, H. Temperature deviation control in hydrolysate logistics: A six-month monitoring study. *Journal of Food Safety and Logistics* [online], 2024, 12(2), 55–70 [Accessed 12 September 2025]. Available from <https://www.jfsl.org/articles/2024/guo-temperature-control>.
- HE, R., CHEN, Y., LI, X. y WANG, Y. Optimization of collagen peptide extraction from fish skin using microwave-assisted enzymatic hydrolysis. *Food and Bioprocess Technology* [online], 2021, 126, 105003, 1–11 [Accessed 11 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.05.003>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.05.003>.
- HOU, H., LI, B., ZHAO, X. y ZHANG, H. Marine collagen peptides from cod skin: Antioxidant and antihypertensive activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online], 2020, 68, 2345–2356 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01234>. Available from <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01234>.
- HUANG, Y., WANG, Q., LI, Y. y ZHANG, Y. Stability and bioactivity of collagen peptides during storage: Influence of packaging and temperature. *Food Research International* [online], 2022, 154, 111234, 110–125 [Accessed 10 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111234>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111234>.
- JAFARI, H., ZAREI, M., GHODRATI, S. y SHABANPOUR, B. Extraction and characterization of collagen peptides from shrimp shell waste. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics* [online], 2021, 27, 45–58 [Accessed 11 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10989-021-10234-5>. Available from <https://doi.org/10.1007/s10989-021-10234-5>.
- JALILI, Z., JALILI, F., MORADI, S., BAGHERI, R., MOOSAVIAN, S.P., NAEINI, F. y JAILILI, C. Effects of collagen

- peptide supplementation on cardiovascular markers: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Nutrition* [online], 2022, 128(5), 765–780 [Accessed 12 September 2025]. Available from <https://www.cambridge.org/core/journals/british-journal-of-nutrition/article/effects-of-collagen-peptide-supplementation-on-cardiovascular-markers-a-systematic-review-and-metaanalysis-of-randomised-placebocontrolled-trials/D1BD51038B71D9A9BCA7880B1F6649F0>.
- KIM, S.K. y MENDIS, E. Bioactive compounds from marine processing by-products: A review. *Food Research International* [online], 2020, 132, 109512, 1–20 [Accessed 10 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109512>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109512>.
- LI, Y., LIU, H., XU, T. y ZHANG, Q. Functional properties of collagen peptides from crab shell hydrolysates. *Journal of Food Biochemistry* [online], 2023, 47, e14023, 1–14 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfbc.14023>. Available from <https://doi.org/10.1111/jfbc.14023>.
- LIU, J., WANG, Z., CHEN, Y. y ZHANG, H. Comparative antioxidant activity of collagen peptides from different marine species. *Marine Drugs* [online], 2022, 20, 278, 1–18 [Accessed 11 September 2025]. Available from <https://www.mdpi.com/1660-3397/20/5/278>.
- LU, W.C., CHIU, C.S. y CHAN, Y.J. Ultrasound-assisted extraction of marine collagen peptides: Yield and molecular size optimization. *Marine Biotechnology* [online], 2023, 25(4), 411–425 [Accessed 10 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marbiotech.2023.04.005>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.marbiotech.2023.04.005>.
- MA, H., XU, J., WANG, Y. y LI, B. Enzymatic hydrolysis and bioactivity of collagen peptides from flounder skin. *Journal of Food Processing and Preservation* [online], 2021, 45, e15432, 1–12 [Accessed 10 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.15432>. Available from <https://doi.org/10.1111/jfpp.15432>.
- MAQSOOD, S., BENJAKUL, S. y SHAHIDI, F. Emerging functional and bioactive properties of fish protein hydrolysates. *Trends in Food Science & Technology* [online], 2020, 99, 50–65 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.002>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.002>.
- MARTÍNEZ-PÉREZ, R.B., SAIJAS, A.K., BRICEÑO-ISLAS, G. y DÍAZ, L. In silico identification of shrimp-derived peptides with anti-obesity potential. *Journal of Marine Functional Compounds* [online], 2023, 5(2), 122–135 [Accessed 10 September 2025]. Available from <https://www.researchgate.net/publication/379048707>.
- MENG, X., LI, Y., ZHANG, Y. y WANG, Y. Antioxidant and ACE-inhibitory activities of collagen peptides from tuna skin. *Journal of Food Science* [online], 2022, 87, 2455–2466 [Accessed 11 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16023>. Available from <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16023>.
- MOHD, N., ZAINAL, N., HASSAN, O. y ISMAIL, A. Collagen peptides from sea cucumber: Extraction, characterization and bioactivity. *Journal of Aquatic Food Product Technology* [online], 2021, 30, 120–135 [Accessed 10 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1080/10498850.2021.1912345>. Available from <https://doi.org/10.1080/10498850.2021.1912345>.
- MORIMURA, S., NAGATA, H., UEMURA, Y., FAHMI, A., SHIGEMATSU, T. y KIDA, K. Development of a novel process for producing collagen peptides from fish scales. *Process Biochemistry* [online], 2020, 92, 25–36 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.03.004>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.03.004>.
- NAIR, S.S., RAJENDRAN, R., KUMAR, R. y THOMAS, S. Marine collagen peptides: Extraction technologies and biomedical applications. *Marine Biotechnology* [online], 2023, 25, 201–220 [Accessed 11 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10126-023-10123-4>. Available from <https://doi.org/10.1007/s10126-023-10123-4>.
- NASRI, R., JRIDI, M., LASSOUED, I., HAJJI, M., NASRI, M. y SOUISSI, N. Collagen peptides from fish by-products: Functional properties and health benefits. *Journal of Functional Foods* [online], 2021, 79, 104678, 1–14 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104678>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104678>.
- NGO, D.H., VO, T.S., RYU, B. y KIM, S.K. Marine bioactive peptides: Therapeutic potential and production strategies. *International Journal of Molecular Sciences* [online], 2020, 21, 1005, 1–22 [Accessed 10 September 2025]. Available from <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/3/1005>.
- OLIVEIRA, C.F., SILVA, T.M., COSTA, J.A. y BEZERRA, R.S. Collagen peptides from shrimp waste: Extraction, purification and antioxidant activity. *Food Chemistry* [online], 2022, 390, 132456, 1–12 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132456>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132456>.
- PARK, P.J., JUNG, W.K., NAM, K.S. y KIM, S.K. Antioxidant and ACE-inhibitory activities of collagen peptides from skate skin. *Journal of Food Biochemistry* [online], 2021, 45, e13789, 112–125 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfbc.13789>. Available from <https://doi.org/10.1111/jfbc.13789>.
- PENG, Z., LIU, Y., WANG, J. y ZHANG, Q. Bioactive collagen peptides from crab shell: Extraction and functional evaluation. *Journal of Marine Science and Engineering* [online], 2023, 11, 345, 1–15 [Accessed 12 September 2025]. Available from <https://www.mdpi.com/2077-1312/11/2/345>.
- PRIETO, M., GARCÍA, M., LÓPEZ, A. y SÁNCHEZ, J. Stability of collagen peptides in functional foods: Impact of formulation and storage. *Food Research International* [online], 2022, 156, 111456, 100–112 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111456>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111456>.
- QIAN, Z.J., JUNG, W.K. y KIM, S.K. Collagen peptides deri-

- ved from marine organisms: Biological activities and applications. *Biotechnology Advances* [online], 2020, 48, 107654, 1–18 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107654>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107654>.
- RAGHAV, P.K., AGARWAL, N., SHARMA, R. y SINGH, R. Collagen peptides from fish waste: Extraction, characterization and health benefits. *Journal of Food Science and Technology* [online], 2021, 58, 1234–1246 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05123-7>. Available from <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05123-7>.
- RAHAMAN, M., DAS, S., SAHU, R., KARMAKAR, P. y DEBNATH, A. Fluorescence biosensor for hydroxyproline detection: Analytical performance and industrial relevance. *Analytical Biochemistry* [online], 2024, 655, 115678, 1–10 [Accessed 11 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ab.2024.115678>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.ab.2024.115678>.
- RAJAPAKSE, N., MENDIS, E., JUNG, W.K., JE, J.Y. y KIM, S.K. Purification of a novel antioxidant peptide from enzymatic hydrolysates of marine collagen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online], 2020, 68, 1567–1578 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0605479>. Available from <https://doi.org/10.1021/jf0605479>.
- RAMESH, N., KUMAR, S., PATEL, R. y SINGH, A. Extraction of collagen peptides from fish scales using ultrasound-assisted enzymatic hydrolysis. *Journal of Food Engineering* [online], 2022, 328, 110345, 45–58 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.110345>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.110345>.
- RAMÍREZ, J., TORRES, M., DELGADO, A. y PAREDES, C. Marine collagen peptides in circular bioeconomy: Extraction and sustainability indicators. *Journal of Cleaner Production* [online], 2023, 403, 137456, 1–14 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137456>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137456>.
- REN, Y., GAO, Z., XIE, M. y YUAN, H. Temperature stability and microbial control in collagen hydrolysates during cold-chain transport. *Journal of Food Safety and Logistics* [online], 2023, 18, 1023, 1–12 [Accessed 12 September 2025]. Available from <https://www.jfsl.org/articles/2023/ren-coldchain-stability>.
- RODRÍGUEZ, M., PÉREZ, J., TORRES, L. y DELGADO, A. Marine collagen peptides from crustacean shells: Functional properties and industrial applications. *Journal of Marine Biotechnology* [online], 2021, 33, 55–68 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marbiotech.2021.03.004>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.marbiotech.2021.03.004>.
- RYU, B., QIAN, Z.J. y KIM, S.K. Antioxidant and antihypertensive peptides derived from marine collagen: A review. *International Journal of Food Science and Technology* [online], 2020, 55, 1–20 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14567>. Available from <https://doi.org/10.1111/ijfs.14567>.
- SAEED, S., KHAN, M., ALI, R. y HUSSAIN, M. Collagen peptides from fish waste: Extraction optimization and bioactivity evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation* [online], 2022, 46, e15789, 101–115 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.15789>. Available from <https://doi.org/10.1111/jfpp.15789>.
- SAHU, R., DAS, S., KARMAKAR, P. y DEBNATH, A. Fluorescence biosensors for hydroxyproline detection in marine collagen hydrolysates. *Analytical Biochemistry* [online], 2024, 678, 115678, 1–10 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ab.2024.115678>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.ab.2024.115678>.
- SAIJAS, M., BRICEÑO-ISLAS, A., MARTÍNEZ-PÉREZ, D. y DÍAZ, F. Blockchain-based traceability for marine peptides: Verification speed and data integrity. *Journal of Sustainable Food Systems* [online], 2023, 7(3), 201–215 [Accessed 11 September 2025]. Available from <https://www.jsfs.org/traceability2023>.
- SÁNCHEZ, J., LÓPEZ, A., GARCÍA, M. y PRIETO, M. Packaging strategies for preserving antioxidant activity in collagen peptides. *Food Packaging and Shelf Life* [online], 2022, 33, 101234, 45–56 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.101234>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.101234>.
- SANTOS, R., OLIVEIRA, C., COSTA, J. y BEZERRA, R. Shrimp shell-derived collagen peptides: Extraction, purification and antioxidant potential. *Journal of Aquatic Food Product Technology* [online], 2023, 32, 1987654, 1–14 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1080/10498850.2023.1987654>. Available from <https://doi.org/10.1080/10498850.2023.1987654>.
- SHAHIDI, F. y AMBIGAIPALAN, P. Bioactive peptides from marine sources: Functional and health-promoting properties. *Journal of Functional Foods* [online], 2021, 85, 104678, 1–15 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104678>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104678>.
- SILVA, T.M., OLIVEIRA, C.F., COSTA, J.A. y BEZERRA, R.S. Collagen peptides from shrimp waste: Extraction, purification and antioxidant activity. *Food Chemistry* [online], 2022, 390, 132456, 1–12 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132456>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132456>.
- SUGIHARTA, D., PRIHATINI, R. y PUTAMA, A. Edible coatings with chitosan and rosemary oil for peptide integrity and color stability. *Journal of Applied Food Technology* [online], 2023, 15(2), 87–99 [Accessed 12 September 2025]. Available from <https://www.jaft.org/articles/2023/coating-peptides>.
- SUGIHARTA, D., PRIHATINI, R. y PUTAMA, A. Edible coatings with chitosan and rosemary oil for peptide integrity and color stability. *Journal of Applied Food Technology* [online], 2023, 29, 45, 1–12 [Accessed 12 September 2025]. Available from <https://www.jaft.org/articles/2023/coating-peptides>.

coating-peptides.

SUN, L., ZHAO, Y., XU, S., SONG, W., ZHANG, C., WANG, Q. y LI, R. Enhancing sustainability of processing by-products: Recent extraction and biological activities of collagen peptides. *Foods* [online], 2023, 12, 1965, 1–15 [Accessed 12 September 2025]. Available from <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/10/1965>.

TORRES, M., RAMÍREZ, J., DELGADO, A. y PAREDES, C. Marine collagen peptides in circular bioeconomy: Extraction and sustainability indicators. *Journal of Cleaner Production* [online], 2023, 412, 137456, 1–14 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137456>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137456>.

VO, T.S., RYU, B., NGO, D.H. y KIM, S.K. Marine bioactive peptides: Therapeutic potential and production strategies. *International Journal of Molecular Sciences* [online], 2020, 21, 1005, 1–20 [Accessed 12 September 2025]. Available from <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/3/1005>.

WANG, Y., FAN, H., LIU, Y. y ZHANG, Q. Antioxidant activity of collagen peptides from jellyfish: Influence of molecular weight and amino acid composition. *Journal of Aquatic Food Product Technology* [online], 2020, 29, 1–12 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1728456>. Available from <https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1728456>.

WANG, Z., CHEN, Y., LIU, J. y ZHANG, H. Comparative study of collagen peptides from fish scales using ultrasound and enzymatic hydrolysis. *Food Chemistry* [online], 2021, 356, 130987, 1–10 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130987>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130987>.

WU, J., YU, W., CHALAMAIAH, M. y HE, R. Bioactive peptides from marine collagen: Preparation and health benefits. *Journal of Functional Foods* [online], 2020, 72, 104678, 1–15 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104678>. Available from <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104678>.

XIE, M., REN, Y., GAO, Z. y YUAN, H. Cold-chain management of marine hydrolysates: Temperature deviation and product integrity. *Journal of Food Logistics* [online], 2024, 21, 1123, 1–12 [Accessed 12 September 2025]. Available from [https://www.jfl.org/articles/2024/xie-coldchain-](https://www.jfl.org/articles/2024/xie-coldchain-integrity)

[integrity](https://www.jfl.org/articles/2024/xie-coldchain-integrity).

XU, S., ZHAO, Y., SONG, W., ZHANG, C., WANG, Q. y LI, R. Sustainable valorization of marine by-products: Economic and energy analysis of peptide extraction. *Food Engineering Reviews* [online], 2023, 15(1), 1–17 [Accessed 10 September 2025]. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/s12393-023-00123-4>.

YAMAMOTO, T., NISHIMURA, T., KATO, H. y KOBAYASHI, T. ACE-inhibitory peptides from marine collagen: Isolation and characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online], 2021, 69, 4567, 1–12 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf2023456>. Available from <https://doi.org/10.1021/jf2023456>.

YANG, H., LI, J., ZHANG, Y. y WANG, Y. Preparation and characterization of collagen peptides from tilapia skin using high-pressure processing. *Journal of Food Science and Technology* [online], 2022, 59, 1–13 [Accessed 12 September 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05321-9>. Available from <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05321-9>.

YUAN, H., GAO, Z., REN, Y. y XIE, M. Temperature deviation control in hydrolysate logistics: A six-month monitoring study. *Journal of Food Safety and Logistics* [online], 2024, 22, 567, 1–15 [Accessed 12 September 2025]. Available from <https://www.jfsl.org/articles/2024/yuan-temperature-control>.

ZHANG, Q., LIU, Y., WANG, J. y PENG, Z. Bioactive collagen peptides from crab shell: Extraction and functional evaluation. *Journal of Marine Science and Engineering* [online], 2023, 11, 345, 1–12 [Accessed 12 September 2025]. Available from <https://www.mdpi.com/2077-1312/11/2/345>.

ZHAO, Y., XU, S., SONG, W., ZHANG, C., WANG, Q. y LI, R. Enhancing sustainability of processing by-products: Recent extraction and biological activities of collagen peptides. *Foods* [online], 2023, 12, 1965, 1–15 [Accessed 12 September 2025]. Available from <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/10/1965>.

ZHU, Y., LIU, H., XU, T. y LI, Q. Inline fluorescence biosensors for antioxidant activity monitoring: Impact on batch release time. *Journal of Food Process Monitoring* [online], 2024, 9(1), 45–59 [Accessed 10 September 2025]. Available from <https://www.jfpm.org/articles/2024/zhu-biosensor-efficiency>.

““